

Sensor element for determination of oxygen concentration in internal combustion engine exhaust gases

Publication number: DE10035036

Publication date: 2001-11-22

Inventor: GRUENWALD WERNER (DE); DIEHL LOTHAR (DE)

Applicant: BOSCH GMBH ROBERT (DE)

Classification:

- international: **G01N27/419; G01N27/417; G01N27/417; (IPC1-7):**
G01N27/407; G01N27/41

- european: G01N27/417

Application number: DE20001035036 20000719

Priority number(s): DE20001035036 20000719

Also published as:



WO0206811 (A1)

EP1203229 (A1)

US6694801 (B2)

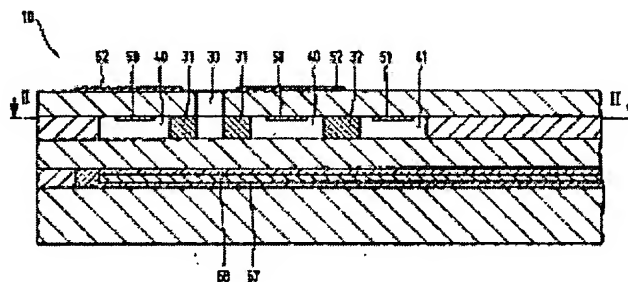
US2003029225 (A1)

EP1203229 (A0)

Report a data error here

Abstract of DE10035036

A sensor element comprises a pump cell having a pump electrode (52) arranged on the surface of the element facing the gas mixture; a measuring gas electrode (50) arranged in the measuring gas region (40); and a reference electrode (51) arranged in a reference gas region. The gas mixture reaches the measuring region via a diffusion resistor (31). A further diffusion resistor (32) is arranged between the measuring and reference regions. Preferred Features: The gas component is pumped into the reference gas region through and external shell via the reference electrode. The reference gas region is connected to a gas chamber via the further diffusion resistor.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

BEST AVAILABLE COPY



①9 **BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT**

⑫ **Patentschrift**
⑩ **DE 100 35 036 C 1**

⑤ Int. Cl.⁷:
G 01 N 27/407
G 01 N 27/41

⑦ Aktenzeichen: 100 35 036.4-52
⑧ Anmeldetag: 19. 7. 2000
④ Offenlegungstag: -
④ Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 22. 11. 2001

DE 100 35 036 C 1

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

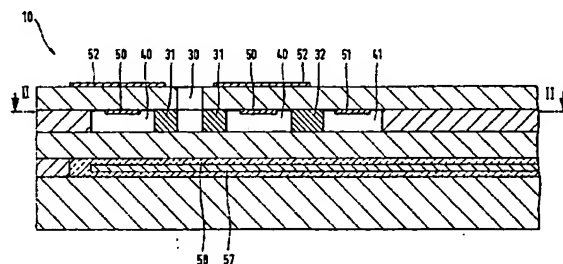
⑬ Patentinhaber:
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

⑦2 Erfinder:
Gruenwald, Werner, Dr., 70839 Gerlingen, DE;
Diehl, Lothar, Dr., 70499 Stuttgart, DE

⑤6 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:
DE 196 47 144 A1

⑤4 **Elektrochemisches Sensorelement**

⑤7 Es wird ein elektrochemisches Sensorelement (10) zur Bestimmung der Sauerstoffkonzentration in Abgasen von Verbrennungsmotoren vorgeschlagen. Das Sensorelement (10) enthält eine Pumpzelle, die eine auf einer dem Gasgemisch zugewandten Fläche des Sensorelements (10) angeordnete Pumpelektrode (52) und eine in einem Messgasbereich (40) angeordnete Messgaselektrode (50) aufweist, wobei das Gasgemisch über einen Diffusionswiderstand (31) in den Messgasbereich (40) gelangt. Daneben enthält das Sensorelement (10) eine in einem Referenzgasbereich (41) angeordnete Referenzelektrode (51). Zwischen dem Messgasbereich (40) und dem Referenzgasbereich (41) ist ein weiterer Diffusionswiderstand (32) vorgesehen.



DE 100 35 036 C 1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein elektrochemisches Sensorelement zur Bestimmung der Konzentration einer Gas-
komponente in einem Gasgemisch, insbesondere zur Be-
stimmung der Sauerstoffkonzentration in Abgasen von Ver-
brennungsmotoren, nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

Stand der Technik

[0002] Ein derartiges elektrochemisches Sensorelement ist beispielsweise aus der DE 196 47 144 A1 bekannt. Diese Sensorelemente werden in Gasmessfühlern eingesetzt, die der Regelung des Luft-/Kraftstoffverhältnisses von Verbrennungsgemischen in Kraftfahrzeugmotoren dienen und als Breitband-Lambdasonden bekannt sind. In diesen Sensorelementen wird eine Konzentrationszelle mit einer elektrochemischen Pumpzelle kombiniert.

[0003] Die Konzentrationszelle weist eine in einem Messgasbereich angeordnete Messelektrode und eine in einem Referenzgasbereich angeordnete Referenzelektrode auf. Das Abgas gelangt über ein Gaszutrittsloch und eine Diffusionsbarriere in den Messgasbereich. Der Referenzgasbereich steht über eine auf der dem Messgasbereich abgewandten Seite des Sensorelements gelegenen Öffnung mit einer Referenzatmosphäre in Verbindung. Der Messgasbereich und der Referenzgasbereich liegen in derselben Schichtebene des als Schichtsystem aufgebauten Sensorelements und sind durch eine gasdichte Trennwand getrennt. Zwischen der Messelektrode und der Referenzelektrode baut sich eine sogenannte Nernstspannung auf, aus der sich das Verhältnis des Sauerstoffpartialdrucks im Messgasbereich zu dem Sauerstoffpartialdruck im Referenzgasbereich ermitteln läßt.

[0004] Die Pumpzelle weist eine erste, im Messgasbereich angeordnet Pumpelektrode und eine zweite, auf einer dem Abgas zugewandten Fläche des Sensorelements angeordnete Pumpelektrode auf und pumpt Sauerstoffionen aus dem Messgasbereich in das Abgas oder umgekehrt aus dem Abgas in den Messgasbereich. Eine an der Pumpzelle liegende Pumpspannung wird durch eine äußere Beschaltung so geregelt, dass im Messgasbereich ein vorbestimmter Sauerstoffpartialdruck vorliegt, der einer bestimmten Nernstspannung entspricht. Da die Pumpspannung so gewählt wird, dass der in der Pumpzelle fließende Pumpstrom durch die Diffusionsgeschwindigkeit der Sauerstoffmoleküle durch die Diffusionsbarriere begrenzt ist und da der Strom der durch die Diffusionsbarriere fließenden Sauerstoffmoleküle proportional zur Sauerstoffkonzentration des Abgases ist, läßt sich aus dem Pumpstrom der Sauerstoffpartialdruck des Abgases ermitteln.

[0005] Bei dem bekannten Sensorelement ist nachteilig, dass die Ausbildung zweier voneinander gasdicht getrennter Gasräume, nämlich des Messgasbereiches und des Referenzgasbereiches, in einer Schichtebene des Sensorelements aufwendig und fertigungstechnisch schwierig ist.

Vorteile der Erfindung

[0006] Das erfindungsgemäße elektrochemische Sensorelement gemäß dem unabhängigen Anspruch hat den Vorteil, dass der Aufbau des Sensorelements dadurch wesentlich vereinfacht ist, dass zwischen Messgasbereich und Referenzgasbereich ein weiterer Diffusionswiderstand angeordnet ist. Hierdurch wird erreicht, dass die Ausbildung einer vom Messgasbereich gasdicht getrennten Aussparung für den Referenzgasbereich eingespart wird.

[0007] Durch die in den abhängigen Ansprüchen genann-

ten Maßnahmen sind vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen des im unabhängigen Anspruch angegebenen Sensorelements möglich.

[0008] Dadurch, dass die Gaskomponente, im allgemeinen Sauerstoff, durch eine äußere Beschaltung über die Referenzelektrode in den Referenzgasbereich gepumpt wird, wird erreicht, dass im Referenzgasbereich ein gleichmäßiger Partialdruck der Gaskomponente vorliegt, so dass der Partialdruck der Gaskomponente im Messgasbereich durch die sich zwischen der Messgaselektrode und der Referenzelektrode ausbildende Spannungsdifferenz (Nernstspannung) mit guter Genauigkeit bestimmt werden kann.

[0009] Vorteilhaft ist weiterhin, dass der Referenzgasbereich nur über den weiteren Diffusionswiderstand in Verbindung mit einem außerhalb des Sensorelements angeordneten Gasraum steht. Somit wird verhindert, dass Verunreinigungen beispielsweise aus der Referenzgasatmosphäre in den Referenzgasbereich gelangen, die zu einer Schädigung der Referenzelektrode und damit zu einer Beeinträchtigung der Sensorfunktion führen könnten.

[0010] Dadurch, dass der Messgasbereich und/oder der Referenzgasbereich durch eine den Diffusionswiderstand und/oder den weiteren Diffusionswiderstand bildende poröse Schicht zumindest bereichsweise ausgefüllt sind/ist, wird der Sensoraufbau weiter stark vereinfacht.

[0011] Dadurch, dass sich der Referenzgasbereich in einem kanalförmigen, vom Gaszutrittsloch entfernten Bereich befindet, wird erreicht, dass die Konzentration der Gaskomponente im Referenzgasbereich nur wenig durch Schwankungen in der Konzentration der Gaskomponente des Gasgemisches beeinflusst wird.

[0012] Dadurch, dass eine Messgaselektrode und die Referenzelektrode in derselben Schichtebene angeordnet sind, ergibt sich der fertigungstechnische Vorteil, dass Messgaselektrode und Referenzelektrode in einem Druckschritt aufgebracht werden können.

Zeichnung

[0013] Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in der Zeichnung dargestellt und in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert. Es zeigen Fig. 1 eine Schnittdarstellung einer ersten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Sensorelements nach der Linie I-I in Fig. 2, Fig. 2 eine Schnittdarstellung der ersten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Sensorelements nach der Linie II-II in Fig. 1, Fig. 3 eine Schnittdarstellung einer zweiten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Sensorelements nach der Linie III-III in Fig. 4, Fig. 4 eine Schnittdarstellung der zweiten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Sensorelements nach der Linie VI-VI in Fig. 2 und Fig. 5 und Fig. 6 Längsschnitte weiterer Ausführungsformen des erfindungsgemäßen Sensorelements.

Beschreibung der Ausführungsbeispiele

[0014] Fig. 1 und Fig. 2 zeigen als erstes Ausführungsbeispiel der Erfindung ein Sensorelement 10 einer Breitband-Lambdasonde, das als Schichtsystem aufgebaut ist und eine erste, zweite, dritte und vierte Festelektrolytschicht 21, 22, 23, 24 aufweist. In die erste und zweite Festelektrolytschicht 21, 22 ist ein Gaszutrittsloch 30 eingebracht. In der zweiten Festelektrolytschicht 22 ist eine Aussparung vorgesehen, die einen Diffusionswiderstand 31, einen Messgasbereich 40, einen weiteren Diffusionswiderstand 32 und einen Referenzgasbereich 41 enthält. Die Aussparung besteht aus einem flachen zylinderförmigen Bereich, in dessen Mitte das Gaszutrittsloch 30 vorgesehen ist, das von dem hohlzylind-

derförmigen Diffusionswiderstand 31 und dem ebenfalls hohlzylinderförmigen Messgasbereich 40 umgeben ist, und einem kanalförmigen Bereich, in den der direkt an den zylinderförmigen Bereich angrenzende weitere Diffusionswiderstand 32 und der Referenzgasbereich 41 eingebracht sind.

[0015] Auf der ersten Festelektrolytschicht 21 sind im Messgasbereich 40 eine ringförmige Messgaselektrode 50 mit einer Zuleitung 50a und im Referenzgasbereich 41 eine Referenzelektrode 51 mit einer Zuleitung 51a vorgesehen. Auf der Außenfläche der ersten Festelektrolytschicht 21 ist eine ringförmige Pumpelektrode 52 aufgebracht. An die zweite Festelektrolytschicht 22 grenzt die dritte und vierte Festelektrolytschicht 23, 24. Zwischen der dritten und der vierten Festelektrolytschicht 23, 24 ist ein Heizelement 57 mit einer Heizisolierung 58 vorgesehen.

[0016] Die Pumpelektrode 52 bildet zusammen mit der Messgaselektrode 50 eine Pumpzelle, die durch eine äußere Beschaltung Sauerstoff in den oder aus dem Messgasbereich 40 pumpt. Die durch die äußere Beschaltung an der Pumpzelle anliegende Pumpspannung wird so geregelt, dass im Messgasbereich 40 ein vorbestimmter Sauerstoffpartialdruck vorliegt. Vorzugsweise wird ein Sauerstoffpartialdruck von $\lambda = 1$ eingeregelt, das heißt, der Sauerstoffpartialdruck entspricht dem stöchiometrischen Luft/Kraftstoff-Verhältnis.

[0017] Der im Messgasbereich 40 vorliegende Sauerstoffpartialdruck wird durch eine Nernstzelle bestimmt, die durch die Messgaselektrode 50 und die Referenzelektrode 51 gebildet wird. Mit der Nernstzelle wird eine durch unterschiedliche Sauerstoffpartialdrücke im Messgasbereich 40 und im Referenzgasbereich 41 hervorgerufene Nernstspannung gemessen, die zur Regelung der Pumpspannung verwendet wird. Hierzu ist erforderlich, dass im Referenzgasbereich 41 ein hinreichend konstanter Sauerstoffpartialdruck vorliegt. Daher wird durch die äußere Beschaltung ein geringer Pumpstrom zwischen der Messgaselektrode 50 und der Referenzelektrode 51 oder zwischen der Pumpelektrode 52 und der Referenzelektrode 51 bewirkt. Durch diesen Pumpstrom von beispielsweise 5 bis 50 μA wird Sauerstoff in den Referenzgasbereich 41 gepumpt. Abhängig vom Sauerstoffpartialdruck im Abgas kann der Sauerstoffpartialdruck im Referenzgasbereich 41 beispielsweise im Bereich von 0,01 bar bei fettem Abgas bis 0,3 bar bei sehr magerem Abgas schwanken. Der Einfluss dieser Schwankungen auf die Nernstspannung ist jedoch vernachlässigbar.

[0018] Das im Referenzgasbereich 41 befindliche Gas kann über den weiteren Diffusionswiderstand 32 in den Messgasbereich 40 gelangen. Eine weitere Verbindung zu einem außerhalb des Sensorelements gelegenen Gasraum, beispielsweise zur Luftatmosphäre, ist nicht notwendig. Der Sauerstoffpartialdruck im Messgasbereich 40 wird durch die Entlüftung des Referenzgasbereiches 41 in den Messgasbereich 40 aufgrund des geringen Pumpstroms nur in vernachlässigbarem Umfang verändert.

[0019] Es ist eine Ausführungsform denkbar, in der die Referenzelektrode 51 im Referenzgasraum 41 auf der dritten Festelektrolytschicht 23 aufgebracht ist.

[0020] Fig. 3 und Fig. 4 zeigen als zweites Ausführungsbeispiel der Erfindung ein Sensorelement 110 einer Breitband-Lambda-sonde mit einer ersten und einer zweiten Festelektrolytschicht 121, 122, in die ein Gaszutrittsloch 130 eingebracht ist, und einer dritten und einer vierten Festelektrolytschicht 123, 124, zwischen denen ein Heizelement 157 mit einer Heizisolierung 158 vorgesehen ist. In der zweiten Festelektrolytschicht 122 ist eine Aussparung vorgesehen, die einen Diffusionswiderstand 131, einen Messgasbereich 140 mit einer Messgaselektrode 150, einen weiteren Diffusi-

onswiderstand 132 und einen Referenzgasbereich 141 mit einer Referenzelektrode 151 enthält. Auf der Außenfläche der ersten Festelektrolytschicht 121 ist eine Pumpelektrode 152 aufgebracht.

[0021] Das zweite Ausführungsbeispiel unterscheidet sich vom ersten Ausführungsbeispiel dadurch, dass neben dem Diffusionswiderstand 131 und dem Messgasbereich 140 auch der weitere Diffusionswiderstand 132 und der Referenzgasbereich 141 in Form konzentrischer Hohlzylinder in einer flachen zylinderförmigen Aussparung angeordnet sind. Weiterhin ist der im Bereich der Referenzelektrode 151 liegende Referenzgasbereich 141 vollständig durch ein den weiteren Diffusionswiderstand 132 bildendes poröses Material ausgefüllt. Dementsprechend ist bei diesem Ausführungsbeispiel unter dem Referenzgasbereich 141 der zur Referenzelektrode 151 benachbarte Bereich des porösen Materials zu verstehen.

[0022] Es ist eine Ausführungsform denkbar, bei der die Referenzelektrode im Referenzgasraum 141 auf der dritten Festelektrolytschicht 123 aufgebracht ist. Es ist ebenfalls denkbar, dass der weitere Diffusionswiderstand die Referenzelektrode 151 nicht oder nur bereichsweise überdeckt.

[0023] Fig. 5 zeigt ein drittes Ausführungsbeispiel der Erfindung, das sich vom zweiten Ausführungsbeispiel dadurch unterscheidet, dass die Referenzelektrode 151 im Referenzgasbereich 141 auf der dritten Festelektrolytschicht 123 aufgebracht ist und dass im Messgasbereich 140 eine der Messgaselektrode 150 gegenüberliegende, auf der dritten Festelektrolytschicht aufgebrachte weitere Messgaselektrode 153 vorgesehen ist.

[0024] Bei diesem Ausführungsbeispiel kann die weitere Messgaselektrode 153 mit der Messgaselektrode 150 beispielsweise im Zuleitungsbereich elektrisch verbunden sein. Es ist ebenfalls denkbar, dass die Nernstzelle durch die weitere Messgaselektrode 153 und die Referenzelektrode 151 und die Pumpzelle durch die Messgaselektrode 150 und die Pumpelektrode 152 gebildet wird. In diesem Fall kann der Pumpstrom zur Aufrechterhaltung des nötigen Sauerstoffpartialdrucks im Referenzgasbereich 141 zwischen der weiteren Messgaselektrode 153 und der Referenzelektrode 151 und/oder zwischen der Messgaselektrode 150 und der weiteren Referenzelektrode 153 und/oder zwischen der Pumpelektrode 152 und der weiteren Referenzelektrode 153 fließen.

[0025] Fig. 6 zeigt ein viertes Ausführungsbeispiel, das sich vom zweiten Ausführungsbeispiel dadurch unterscheidet, dass die Aussparung in der zweiten Festelektrolytschicht, die den Diffusionswiderstand 131, den Messgasbereich 140, den weiteren Diffusionswiderstand 132 und den Referenzgasbereich 141 enthält, vollständig durch ein poröses Material ausgefüllt ist. Unter dem Messgasbereich 140 ist in diesem Ausführungsbeispiel der zur Messgaselektrode 150 benachbarte Bereich des porösen Materials, unter dem Referenzgasbereich 141 zur Referenzelektrode 151 benachbarte Bereich des porösen Materials zu verstehen. Der Diffusionswiderstand 131 wird durch das zwischen dem Gaszutrittsloch 130 und der Messgaselektrode 150 liegende poröse Material gebildet, der weitere Diffusionswiderstand 132 wird durch das zwischen der Messgaselektrode 150 und der Referenzelektrode 151 liegende poröse Material gebildet.

Patentansprüche

1. Sensorelement zur Bestimmung der Konzentration einer Gaskomponente in einem Gasgemisch, insbesondere zur Bestimmung der Sauerstoffkonzentration in Abgasen von Verbrennungsmotoren, mit mindestens

einer Pumpzelle, die mindestens eine auf einer dem Gasgemisch zugewandten Fläche des Sensorelements (10, 110) angeordnete Pumpelektrode (52, 152) und mindestens eine in einem Messgasbereich (40, 140) angeordnete Messgaselektrode (50, 150) aufweist, wobei das Gasgemisch über einen Diffusionswiderstand (31, 131) in den Messgasbereich (40, 140) gelangt, sowie mit mindestens einer in einem Referenzgasbereich (41, 141) angeordneten Referenzelektrode (51, 151), **dadurch gekennzeichnet**, dass zwischen dem Messgasbereich (40, 140) und dem Referenzgasbereich (41, 141) ein weiterer Diffusionswiderstand (32, 132) vorgesehen ist.

2. Sensorelement nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Gaskomponente durch eine äußere Beschaltung über die Referenzelektrode (51, 151) in den Referenzgasbereich (41, 141) gepumpt wird.

3. Sensorelement nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Gaskomponente durch eine äußere Beschaltung vom Messgasbereich (40, 140) über die Messgaselektrode (50, 150) und die Referenzelektrode (51, 151) in den Referenzgasbereich (41, 141) gepumpt wird.

4. Sensorelement nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Gaskomponente durch eine äußere Beschaltung über die Pumpelektrode (52, 152) und die Referenzelektrode (51, 151) in den Referenzgasbereich (41, 141) gepumpt wird.

5. Sensorelement nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Referenzgasbereich (41, 141) nur über den weiteren Diffusionswiderstand (32, 132) in Verbindung mit einem außerhalb des Sensorelements (10, 110) gelegenen Gasraum steht.

6. Sensorelement nach einem der vorherigen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass eine weitere Messgaselektrode (153) im Messgasbereich (40, 140) vorgesehen ist.

7. Sensorelement nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die weitere Messgaselektrode (153) mit der Messgaselektrode (50, 150) elektrisch verbunden ist.

8. Sensorelement nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass durch eine äußere Beschaltung die Gaskomponente vom Messgasbereich (40, 140) über die Messgaselektrode (50, 150) und die Referenzelektrode (51, 151) und/oder über die weitere Messgaselektrode (153) und die Referenzelektrode (51, 151) in den Referenzgasbereich (41, 141) gepumpt wird.

9. Sensorelement nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Sensorelement (10, 110) als Schichtsystem aufgebaut ist und dass der Diffusionswiderstand (31, 131), der Messgasbereich (40, 140), der weitere Diffusionswiderstand (32, 132) und der Referenzgasbereich (41, 141) zumindest zum überwiegenden Teil in einer Schichtebene des Sensorelements (10, 110) angeordnet sind.

10. Sensorelement nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Messgaselektrode (50, 150) und die Referenzelektrode (51, 151) in derselben Schichtebene des Sensorelements (10, 110) angeordnet sind.

11. Sensorelement nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass der Diffusionswiderstand (31, 131), der Messgasbereich (40, 140), der weitere Diffusionswiderstand (32, 132) und der Referenzgasbereich (41, 141) in einer zylinderförmigen Aussparung angeordnet sind und dass die Messgaselektrode (50, 150) und die Referenzelektrode (51, 151) ringförmig ausgebildet sind.

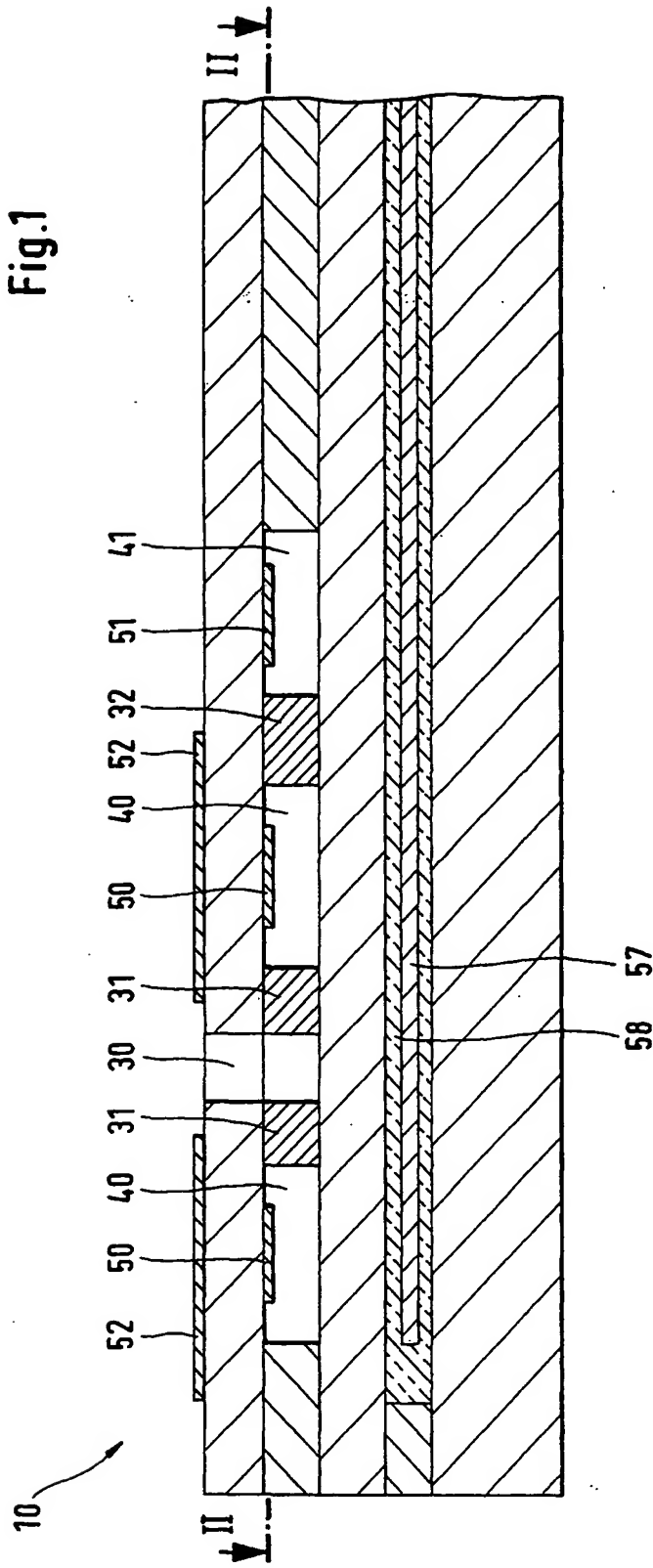
12. Sensorelement nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass der Diffusionswiderstand (31, 131) und der Messgasbereich (40, 140) in einer zylinderförmigen Aussparung angeordnet sind, dass die Messgaselektrode (50, 150) ringförmig ausgebildet ist und dass der weitere Diffusionswiderstand (32, 132) und der Referenzgasbereich (41, 141) in einer sich vom Messgasbereich (40, 140) aus kanalförmig erstreckenden weiteren Aussparung angeordnet sind.

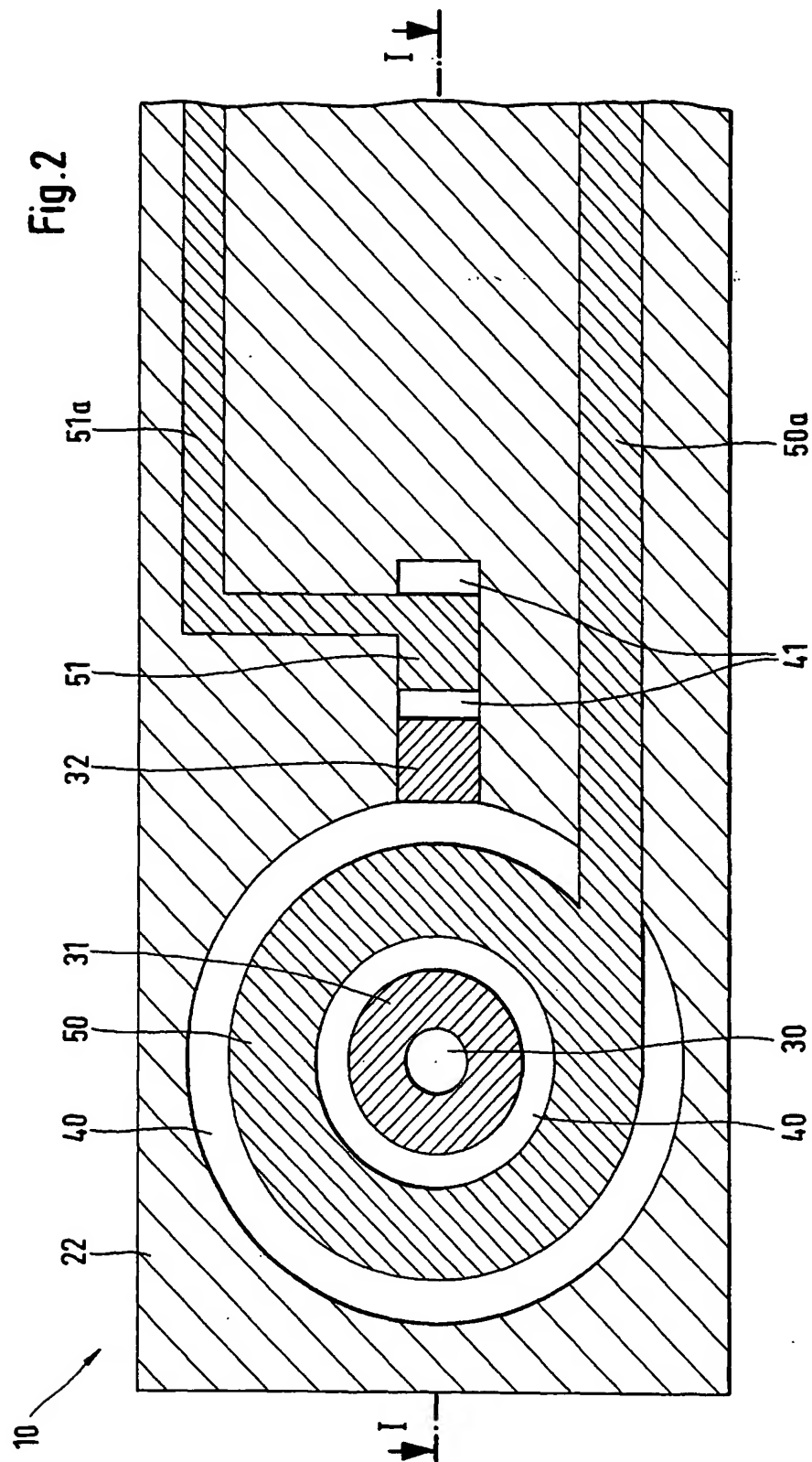
13. Sensorelement nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Diffusionswiderstand (31, 131) und/oder der weitere Diffusionswiderstand (32, 132) durch eine poröse Schicht gebildet werden/wird.

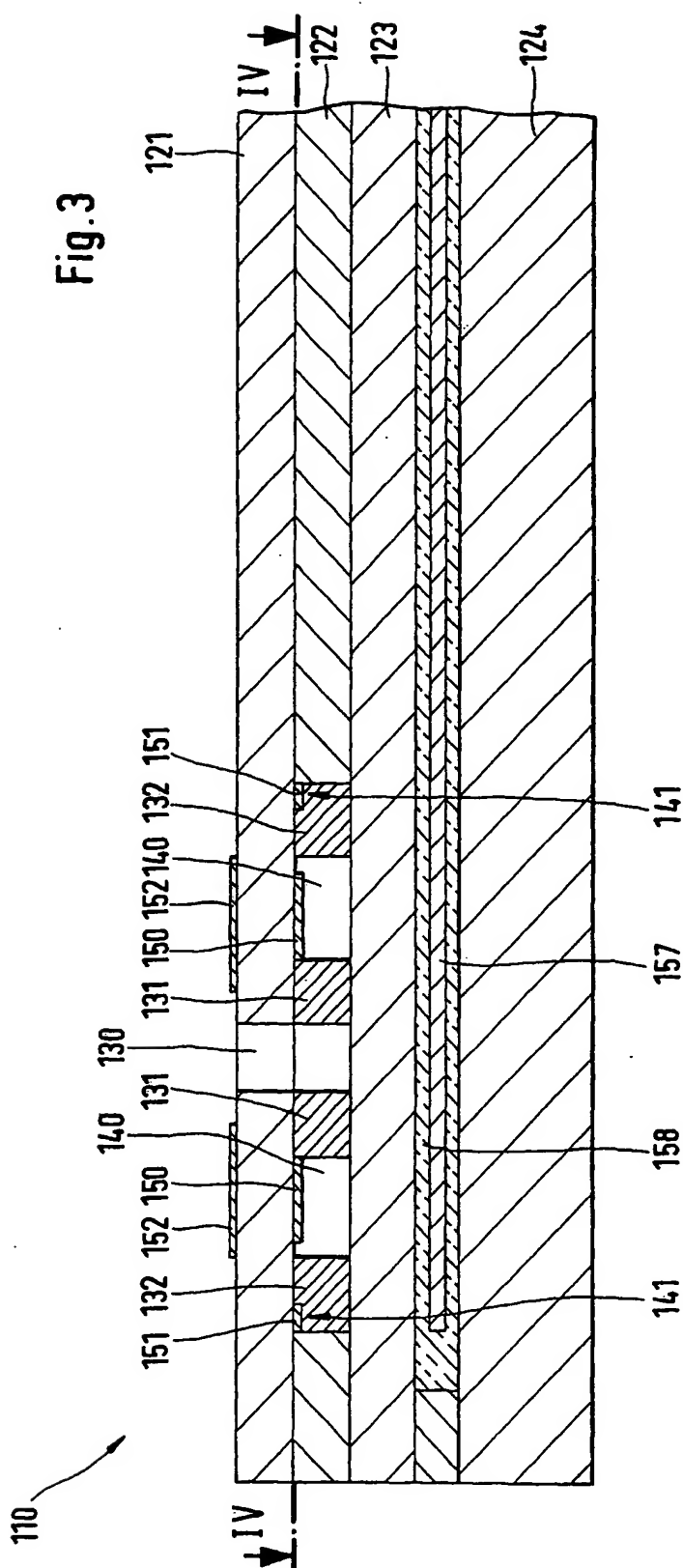
14. Sensorelement nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Referenzgasbereich (40, 140) und/oder der Messgasbereich (41, 141) durch eine den Diffusionswiderstand (31, 131) und/oder den weiteren Diffusionswiderstand (32, 132) bildende poröse Schicht zumindest bereichsweise ausgefüllt sind/ist.

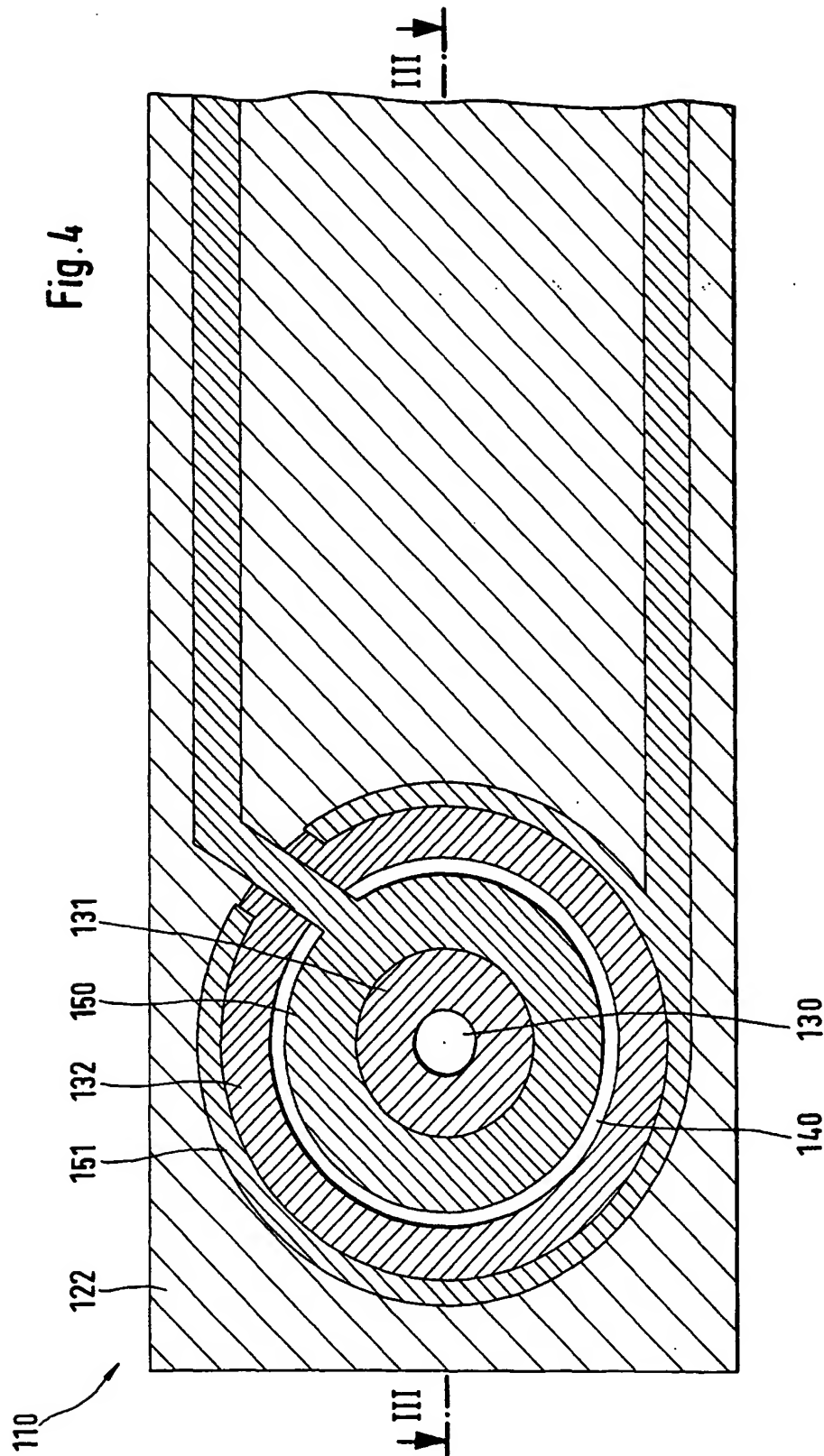
Hierzu 6 Seite(n) Zeichnungen

Fig.1









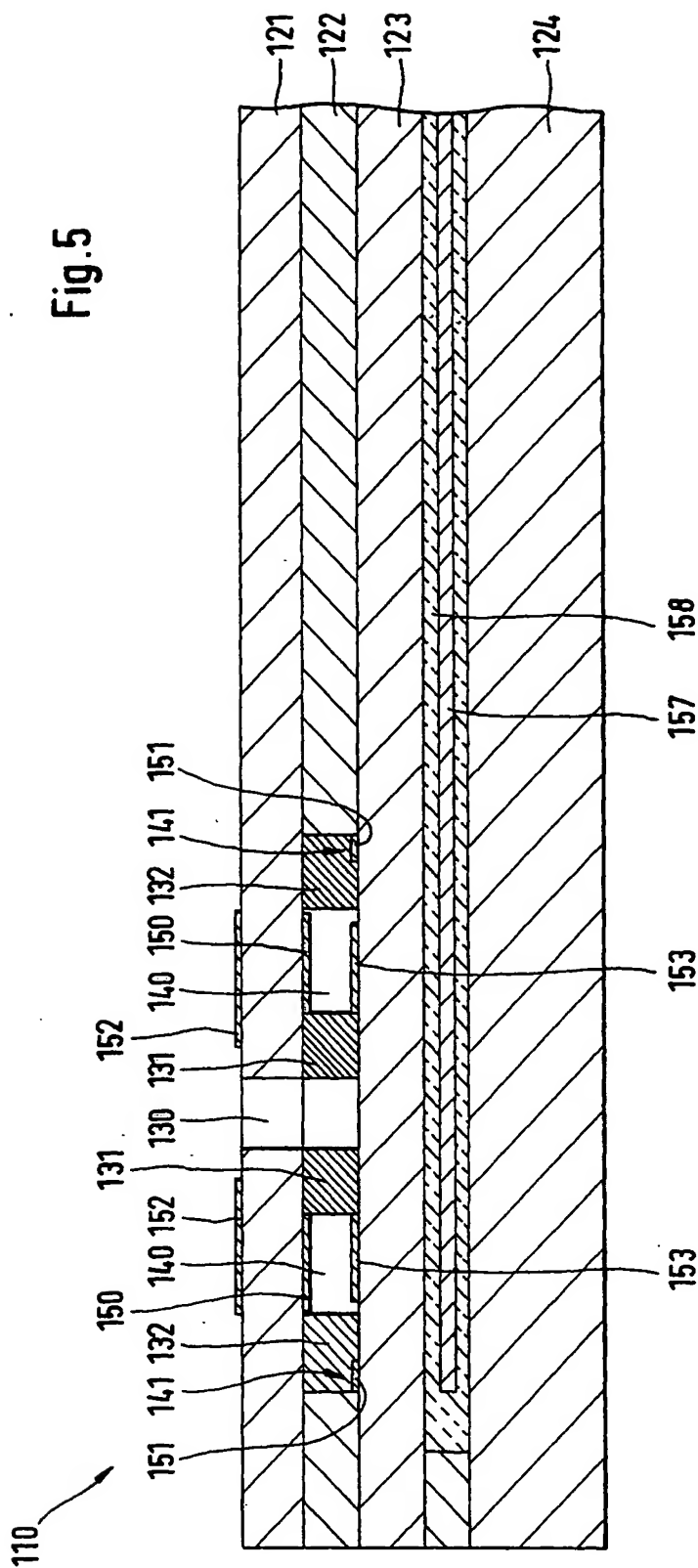
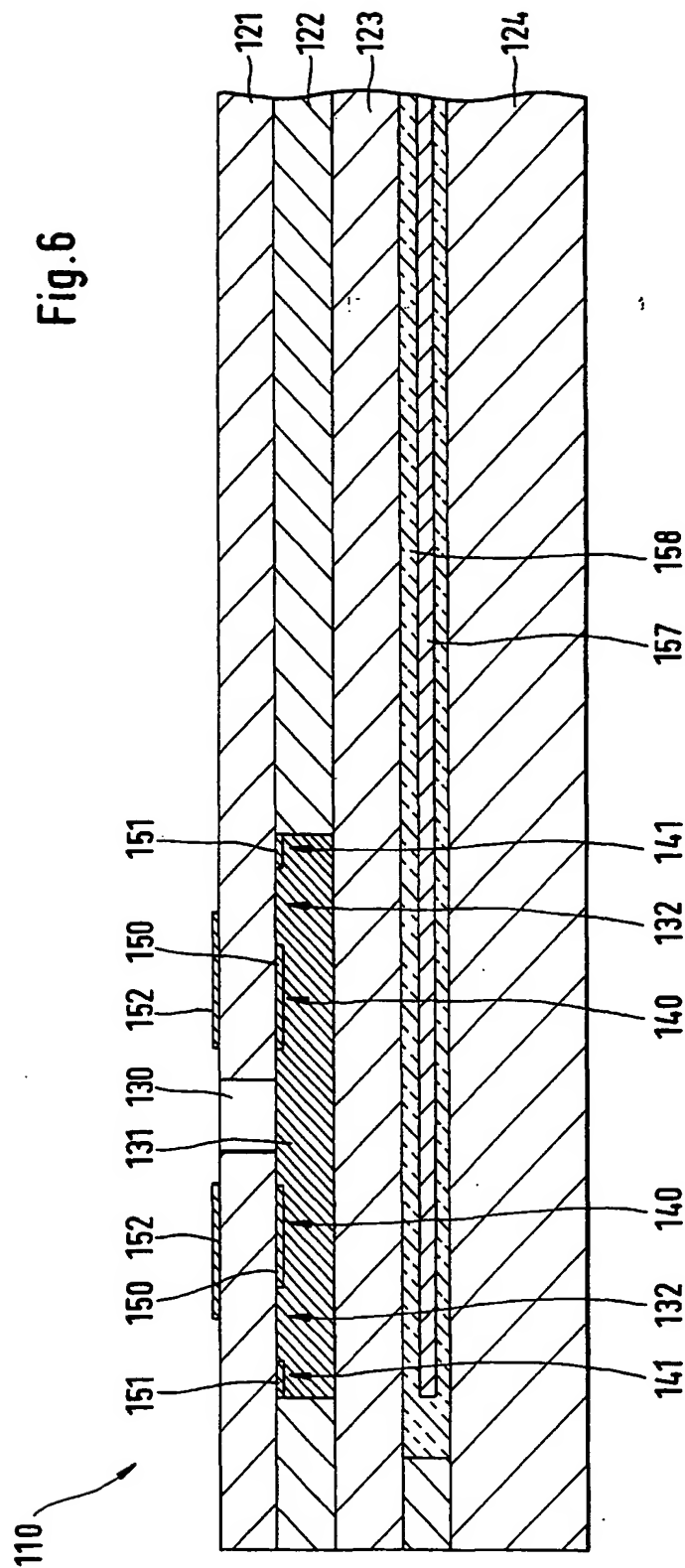


Fig. 6



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.